NOMA 中基于非规则码片映射的稀疏多用户检测算法 *

詹德满 [1,2]，李燕龙 [1,2]，王俊义 [1]

(1. 桂林电子科技大学 认知无线电与信息处理教育部重点实验室，广西 桂林 541004; 2. 中国电子科技集团公司第 54 研究所 通信网信息传输与分发技术重点实验室，石家庄 050081)

摘　要：针对非正交多址接入系统灵活性不高的问题，基于码片映射码分多址（Chip Mapping-CDMA，CM-CDMA）系统，设计了一种非规则结构的码片映射矩阵。根据不同场景需求，该映射矩阵可为各用户分配不同数量的传输码片，提高了系统灵活性。同时分析了非规则映射矩阵的引入满足压缩感知 RIP 条件，并对该系统模型进行了验证。仿真结果表明，该系统能够利用压缩感知理论可靠地检测出活跃用户和数据，过载率可达 300%，有效提升了频谱利用率。

关键词：非正交多址；非规则映射矩阵；压缩感知；多用户检测

中图分类号：TN929　　doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2018.02.0049

Sparse multiuser detection algorithm based on irregular chip mapping in non-orthogonal multiple access

Zhan Deman[1, 2], Li Yanlong[1, 2], Wang Junyi[1]

(1. *Key Laboratory of Cognitive Radio & Information Processing*, *Ministry of Education*, *Guilin University of Electronic Technology*, *Guilin Guangxi* 541004, *China*; 2. *Science & Technology on Information Transmission & Dissemination in Communication Networks Laboratory*, *The* 54*th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation*, *Shijiazhuang* 050081, *China*)

Abstract: In view of the low flexibility of non-orthogonal multiple access system, this paper designed an irregular chip mapping matrix based on chip mapping-CDMA (CM-CDMA) system. This irregular chip mapping matrix can allocate different quantity of transmission chips for each user according to different scene requirements, which improves the flexibility of system. At the same time, it analyzed the condition which satisfied compressed sensing RIP after the irregular mapping matrices was introduced. It also validated the system model. The simulation results show that the system can detect active users and data reliably by using the compressed sensing theory. The overload rate can reach 300%, which improves the spectrum utilization.

Key words: Non-orthogonal multiple access; irregular mapping matrix; compressive sensing; multi-user detection

chinaXiv:201804.02141v1

0　引言

移动互联网和物联网的迅猛发展将会对未来无线通信系统提出更苛刻的要求[1]。非正交多址接入（non-orthogonal multiple access，NOMA）[2]具有低时延、高传输速率、高连接密度等优点[3, 4]，被认为是解决未来通信中海量用户接入技术之一。NOMA 克服了传统正交多址中频谱利用率低的缺点，它将会在移动通信中得到更广泛的应用。

在 NOMA 系统中，需要将用户信息映射到扩频资源（码片）上进行传输，而映射关系在一定程度上反映了系统的实际价值。由于 LDPC 码校验矩阵是一种低密度的稀疏矩阵[5]，可作为映射矩阵，因此本文利用 LDPC 码的校验矩阵的生成方法来构造映射矩阵。LDPC 校验矩阵的生成方法主要有两类[6]，一类是随机构造法，另一类是代数构造法。在这两类生成方法中，代数构造法简单容易实现，灵活性较高。用户与码片的映射关系可分为规则映射和非规则映射，规则映射矩阵中用户与码片的映射数量关系是固定的[7]，不能灵活适应不同场景需求，并且稀疏度较大[8]，不利于接收端的稀疏检测。

针对上述问题，本文研究非规则映射场景下的稀疏多用户检测算。非规则映射克服了规则映射技术不能灵活地适应不同场景需求。本文设计了一种非规则结构的映射矩阵[9-10]，可为不同用户分配不同数量的码片，在保证了连通同时也兼顾了覆盖要求[11]，提高了码片的利用率和系统的灵活性。本文中分析了在引入非规则结构映射矩阵后，接收端接收到的信号仍是稀疏的，即接收信号满足压缩感知的条件。压缩感知检测方法主要分为两类：贪婪算法和凸优化算法。贪婪算法计算效率高，复

收稿日期：2018-02-02；**修回日期：**2018-03-15　**基金项目：**国家自然科学基金资助项目（61761014）；认知无线电与信息处理教育部重点实验室主任基金资助项目（CRKL170106）；广西研究生教育创新计划资助项目（YCBZ2017050）；广西无线宽带通信与信号处理重点实验室基金资助项目（GXKL061501）

作者简介：詹德满（1989-），男，广西来宾人，硕士研究生，主要研究方向为移动通信；李燕龙（1989-），男（通信作者），讲师，博士研究生，主要研究方向为移动通信（lylong@guet.edu.cn）；王俊义（1977-），男，副教授，博士，主要研究方向为网络性能分析与优化、非均匀采样信号特征提取.

杂度低。在 CM-CDMA 系统接收端，即使过载条件下，利用压缩感知技术也能高概率地检测出活跃用户和数据[12][13]，有效提升了频谱效率。

1　系统模型

本文基于 Chips Mapper-CDMA 非正交多址接入系统，设计了一种非规则的码片映射矩阵，系统模型如图 1 所示。

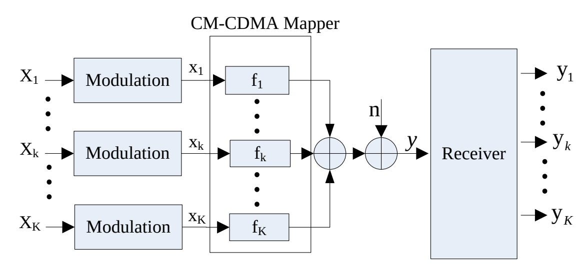


图 1 Chips Mapper-CDMA 系统模型

在 CM-CDMA 系统，令 $\mathbf{x}$、$\mathbf{y}$ 和 $\mathbf{n}$ 分别表示用户传输符号向量、接收向量和噪声向量。在接收端所有用户接收信号可以表示为

$$\mathbf{y}=\sum_{k=1}^{K}\boldsymbol{a}_k\boldsymbol{x}_k+\mathbf{n}=\mathbf{Ax}+\mathbf{n} \quad (1)$$

其中：用户 k 的影响信号向量 $\boldsymbol{a}_k$ 是瞬时信道响应 $\mathbf{h}_k$、初始扩频序列 $\mathbf{s}$ 和映射向量 $\mathbf{f}_k$ 的积，即式（2）。

$$\boldsymbol{a}_k=\mathbf{h}_k\cdot\mathbf{s}\cdot\mathbf{f}_k \quad (2)$$

在 CM-CDMA 系统中，用户与码片之间的映射关系可用二分图表示，也可将用户与码片的映射关系用相应的标示矩阵 $\mathbf{F}$ 来表示，如 4 个码片资源，6 个用户 F 矩阵可表示为

$$\mathrm{F}=\begin{bmatrix}1&0&0&1&1&0\\0&1&1&0&1&0\\0&1&0&1&0&1\\1&1&0&0&0&1\end{bmatrix} \quad (3)$$

如果标示矩阵 $\mathbf{F}$ 中的每一列或者每一行含有相同个数的“1”，这样的映射叫做规则结构映射，否则叫非规则结构映射。非规则结构映射矩阵通过为每一个用户分配不同数量码片实现不同场景下覆盖和连通的要求，以提高系统灵活性。为了达到重点覆盖要求，每个用户多分配传输码片，可用式（4）来表示；为保证连通要求，每个用户少分配传输码片，可用式（5）来表示。

$$\mathrm{F}=\begin{bmatrix}1&1&1&0&1&0\\1&1&1&0&0&1\\1&1&1&0&1&1\\1&0&1&0&1&1\end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathrm{F}=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&1\\1&1&1&1&1&1\\0&0&1&0&0&0\end{bmatrix} \quad (5)$$

本文采用的非规则结构映射矩阵 $\mathbf{F}$，具体可借鉴 PG-LDPC 码构造法设计[14]。映射矩阵 $\mathbf{F}$ 可以采用“复制-转换”算法得到。其操作为：现有一基础矩阵 $\mathbf{B}$，它的每一个元素的数值都是随机的，用 $r\times r$ 阶的零矩阵 0_r 替换基础矩阵 B 中所有的“0”元素；用 $r\times r$ 阶的单位阵 I_r 替换基础矩阵 B 中所有的“1”元素；对大于“1”的元素，先用相应个数的置换阵求异或，然后用所求得的置换阵对相应元素进行替换。假设有基础矩阵 $\mathbf{B}$，则有相对应映射矩阵为

$$B=\begin{bmatrix}1&2&\cdots&1\\\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\1&0&\cdots&4\end{bmatrix}\xrightarrow{\text{复制-转换}}$$
$$F=\begin{bmatrix}I_r&I_r\oplus\Pi_1&\cdots&I_r\\\vdots&\ddots&\vdots&\vdots\\I_r&0_r&\cdots&\Pi_2\oplus\Pi_3\oplus\Pi_4\end{bmatrix}_{2r\times 3r} \quad (6)$$

其中：置换阵 $\Pi_i, i=1,\cdots,4$ 是一个 4×4 的子矩阵，每个子矩阵都是单位循环矩阵，因此导出图的校验矩阵具有分块循环特性[15]。非规则矩阵的这一分块性质，提高了在接收端对信号重建概率，由于基础矩阵 B 中的元素值是随机生成的，因此经过复制置换操作后的非规则结构 LDPC 校验矩阵具有稀疏特点。

2　非规则映射矩阵有限等距性质分析

在接收端，如果式（1）中的矩阵 A 满足有限等距性质（restricted isometry property，RIP）[16]，那么就可以从接收到的信号中还原出原信息。式（2）中初始扩频序列 $\mathbf{s}$ 是非零的对角阵，若将所有的用户 k 的影响信号向量 $\mathbf{a}_k$ 写成矩阵形式，由于初始扩频序列 $\mathbf{s}$ 不会改变矩阵的稀疏性，为简便起见可将其略去，则可以得到到式（7）。

$$A=HF \quad (7)$$

现在来分析观测矩阵 A 的有限等距性质。在压缩感知（compressing sensing，CS）理论中已经表明，作为观测矩阵的 $N\times K$ 阶高斯矩阵或伯努利矩阵，当它满足满足 RIP 性质（K 阶 RIP 性质）时，可以在接收端重建原始信号[5]。因此，进一步假设本文所设计的非规则映射矩阵可以为高斯矩阵或伯努利矩阵。下面给出高斯 CS 矩阵 $\mathrm{F_G}$ 和伯努利 CS 矩阵 $\mathrm{F_B}$ 的定义和概率分布 [17]。

高斯 CS 矩阵 $\mathrm{F_G}$：$N\times K$ 高斯矩阵 $\mathrm{F_G}$ 的元素 $f_{n,k}$ 是独立同分布的高斯随机变量，其概率分布如式（5）所示。

$$f_{n,k}\sim N(0,1) \quad (8)$$

伯努利 CS 矩阵 $\mathrm{F_B}$：$N\times K$ 伯努利矩阵 $\mathrm{F_B}$ 的元素是独立同分布的伯努利随机变量，其概率分布如式（9）或（10）所示。

$$f_{n,k}=\begin{cases}+1, & \frac{1}{2}\\-1, & \frac{1}{2}\end{cases} \quad (9)$$

$$f_{n,k}=\begin{cases}+1, & \frac{1}{6}\\0 & \frac{2}{3}\\-1, & \frac{1}{6}\end{cases} \quad (10)$$

根据 CS 理论[5]，RIP 可以保证式（1）中 K 稀疏信号 x 的恢复。根据文献[17]给出的亚高斯变量和各向同性随机向量的定义 1、定义 2，可以推出高斯随机变量和伯努利随机变量均是亚高斯随机变量，且各项同性。

定义 1　一个随机变量 X 如果满足下式，那么 X 称为亚高斯随机变量

chinaXiv:201804.02141v1

ChinaXiv合作期刊

$$P\{|x|\geq t\}\leq \exp\left(1-\frac{t^2}{Q^2}\right) \quad （11）$$

其中：Q 是一个绝对常数。X 的亚高斯范数表示为 $\|x\|_{\psi 2}$，定义如下：

$$\|x\|_{\psi 2}=\sup_{P\geq 1} P^{-1/2}(\mathrm{E}|x|^P)^{1/P} \quad （12）$$

很容易看出，式（8）中的高斯随机变量和式（9）中的伯努利随机变量都是亚高斯随机变量，并且式(8)、式（9）的亚高斯范数分别为 $\|x\|_{\psi 2}=C_G$，$\|x\|_{\psi 2}=1$，其中 C_G 是一个绝对常数。

定义 2 随机向量 $b\in R^{K\times 1}$ 如果满足 $Ebb^T=I\in R^{K\times K}$，则称为各向同性。等价地，如果满足式（13），b 是各向同性向量：

$$E\langle b,x\rangle^2=\|x\|_2^2 \quad \forall x\in R^{K\times 1} \quad （13）$$

由此易知高斯随机向量和伯努利随机向量都是各向同性随机向量[17]。同理，列向量 f_k（$1\leq k\leq K$）如果满足 $Ef_kf_k^T=I\in R^{N\times N}$ 和式（14），那么列向量 f_k 也是各向同性随机向量。

$$E\langle f_k,x\rangle^2=\|x\|_2^2 \quad \forall x\in R^{N\times 1} \quad （14）$$

进一步根据文献[17]中的定理 1 来分析（1）中 A＝HF 的 RIP，如果文献[18]中的定理 2 成立，那么观测矩阵 A 满足 RIP 性质。

定理 1 设 $B\in R^{M\times S}$ 为具有 M>>S 特点的矩阵，其行 $b_m\in R^{S\times 1}$ 为独立的亚高斯各向同性随机向量。那么对于任意 t ≥0，满足下式概率至少有 $1-2\exp(-ct^2)$。

$$\sqrt{M}-C\sqrt{S}-t\leq S_{\min}(B)\leq S_{\max}(B)\leq\sqrt{M}+C\sqrt{S}+t \quad （15）$$

其中：$S_{\min}(B)$ 和 $S_{\max}(B)$ 分别表示矩阵 B 的最小和最大奇异值。$C=C_\omega$，$c=c_\omega>0$ 只取决于亚高斯范数 $\omega=\max_m\|b_m\|_{\psi 2}$，其中 $\|b_m\|_{\psi 2}=\sup\|\langle b_m,x\rangle\|_{\psi 2}$，$\|x\|_2=1$。

本文设计的映射矩阵 F 是一个稀疏矩阵，令 K 表示映射矩阵 F 的稀疏度，N 表示矩阵的行数，矩阵中的非零元素满足式（9），即映射矩阵中的元素是独立同分布的伯努利随机变量。同时假设信道矩阵 $H\in R^{N\times N}$ 行独立，且有相同的 F 范数 D，即 $H_i=\sqrt{\sum_{j=1}^{N}|a_{i,j}|^2}(i=1,\cdots,N)$。

令 λ 为 $\{1,\cdots,K\}$ 的一个子集，$|\lambda|=K$，$A_\lambda=HF_\lambda\in R^{N\times K}(N\gg K)$，其中矩阵 A_λ 是 A 中对应列构成的子矩阵。设 $a_{n,k}$ 是 A_λ 的 (n,k) 项，$h_n\in R^{N\times 1}(1<n<N)$ 表示 H 的第 n 行，$f_k\in R^{N\times 1}(1<k<K)$ 表示 F_λ 的第 k 列。由式(9)的定义知 A_λ 的元素是亚高斯变量，对于任意 n,k，$a_{n,k}$ 的均值 $Ea_{n,k}=Eh_n^Tf_k=0$。从式（14）知 $Ea_{n,k}=E(f_k,h_n)^2=\|h_n\|_2^2=D^2$。设 $a_m=[a_{n,1},\cdots,a_{n,K}]^T\in R^{K\times 1}$ 表示 A_λ 的第 n 行，$1\leq n\leq N$。由文献[18]中定理 2 知 A_λ 的行是独立的。

根据文献[18]，a_n 的二阶矩，即 $Ea_na_n^T\in R^{K\times K}$ 由下式给出：

$$\begin{bmatrix} Ea_{n,1}^2 & Ea_{n,1}a_{n,2} & \cdots & Ea_{n,1}a_{n,S} \\ Ea_{n,1}a_{n,2} & Ea_{n,2}^2 & \cdots & Ea_{n,2}a_{n,S} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Ea_{n,1}a_{n,S} & Ea_{n,2}a_{n,S} & \cdots & Ea_{n,S}^2 \end{bmatrix} \quad （16）$$

由前分析知 $Ea_{n,k}^2=D^2$，$Ea_{n,k}a_{n,j}=Ef_k^Th_nf_j^Th_n=0,\ 1\leq k,j\leq K,k\neq j$，则有 $Ea_na_n=D^2I$。令 $b_n=\frac{1}{D}a_n$，则 $Eb_nb_n^T=I$。因此 $\frac{1}{D}a_n\in R^{K\times 1}(1\leq n\leq N)$ 是独立的亚高斯各向同性随机向量。由定理 1 可知，$\mathbf{B}=\frac{1}{D}\mathbf{A}_\Lambda$ 的奇异值界限满足不等式（15）的概率至少为 $1-2\exp(-ct^2)(t\geq 0)$。令 $\delta_K=\frac{c\sqrt{K}+t}{\sqrt{N}}(K\ll N)$，对式（15）进一步转化可得式（17）。

$$1-\delta_K\leq S_{\min}\left(\frac{1}{D\sqrt{N}}\mathbf{A}_\lambda\right)\leq S_{\max}\left(\frac{1}{D\sqrt{N}}\mathbf{A}_\lambda\right)\leq 1+\delta_K \quad （17）$$

对于任意的 $\lambda\in\{1,\cdots,K\}$、$|\lambda|=K$ 和 $x\in R^{K\times 1}$，不等式(17)两边同时乘以 $\|x\|_2$，并做相应整理，可得式（18）成立概率至少为 $1-2\exp(-ct^2)$。

$$(1-\delta_K)\|x\|_2\leq\frac{1}{D\sqrt{N}}\|\mathbf{A}_\lambda x\|_2\leq(1+\delta_K)\|x\|_2 \quad （18）$$

这意味着对于任意 K 稀疏信号 $x\in R^{K\times 1}$，式（18）成立概率至少为 $1-2\exp(-ct^2)(t\geq 0)$。由此可知，本文所设计的映射矩阵是可行的，式（1）中的观测矩阵 A 满足 RIP 性质。

3 稀疏多用户检测算法

如前分析，本文研究的 CM-CDMA 系统中观测矩阵 A 满足 RIP 性质，故可以用压缩感知技术对接收的信号进行重建。在压缩感知检测中，式（1）的观测矩阵 A 和观测向量 y 是已知的。一般用非零元素的数量来衡量稀疏性，即式（19）。

$$S=|\ k:x_k\neq 0\ | \quad （19）$$

本文研究的 CM-CDMA 系统扩频序列经过 CMDA 映射后信号变为复信号，而凸优化算法不适用于复信号的检测。因此，这里仅简要介绍本文用到的贪婪算法。在匹配追踪（matching pursuit，MP）算法基础上进行改进的算法有压缩采样匹配追踪（compressive sampling MP，CoSaMP），子空间追踪（Subspace Pursuit，SP)和稀疏度自适应匹配追踪(sparsity adaptive MP，SAMP)。

在 CoSaMP 重构算法中，如果稀疏信号 **x** 的稀疏度为 K，那么矩阵 **A** 只有 K 列对信号 **y** 中的元素的取值起作用。该算法在迭代的过程中需要找出 K 个最优的列集合，再利用最小二乘法求出信号 **x** 的估计值，其过程如表 1 所示。

表 1 CoSaMP 算法流程

Algorithm 1 Compressive Sampling Matching Pursuit (CoSaMP)
$\mathbf{r}^0=\mathbf{y},\ \Gamma^0=\varnothing,\ l=0$
repeat
$\mathbf{v}=\mathbf{A}^T\mathbf{r}_{l-1},\ l=l+1$
$\Omega=supp(\mathbf{v}_{2K_x})$
$\Gamma^l=\Gamma^{l-1}\cup\Omega$
$\hat{\mathbf{x}}_{\Gamma^l}^l=\mathbf{A}_{\Gamma^l}^\dagger\mathbf{y}$ and $\hat{\mathbf{x}}_{\bar{\Gamma}^l}^l=0$
$\mathbf{r}^l=\mathbf{y}-\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}^l$
until $l=K_x$ or $\|\mathbf{A}^H\mathbf{r}^l\|_\infty<\varepsilon$

SP 算法和 CoSaMP 算法差别很小，CoSaMP 迭代时每次选择 2K 个原子，而 SP 每次选择 K 个原子，但是 SP 算法更高效。SP 算法过程如表 2 所示。

鉴于前面所述贪婪算法及其他算法大都需要已知信号的稀疏度 K，而在实际中这个一般是不知道的。基于此背景，稀疏度自适应匹配追踪(Sparsity Adaptive MP)被提出，它能自适应稀

chinaXiv:201804.02141v1

ChinaXiv合作期刊

疏信号。SAMP 算法过程如表 3 所示：

表 2　SP 算法流程

Algorithm 2 Subspace Pursuit (SP)

$\mathbf{r}^0 = \mathbf{y},\ \Gamma^0 = \varnothing,\ l = 0$

repeat

$\quad \mathbf{v} = \mathbf{A}^T \mathbf{r}_{l-1},\ l = l + 1$

$\quad \Omega = supp(\mathbf{v}_{1K_x})$

$\quad \Gamma^l = \Gamma^{l-1} \cup \Omega$

$\quad \hat{\mathbf{x}}^l_{\Gamma^l} = \mathbf{A}^\dagger_{\Gamma^l}\mathbf{y}$ and $\mathbf{x}^l_{\bar{\Gamma}^l} = 0$

$\quad \mathbf{r}^l = \mathbf{y} - \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}^l$

until $l = K_x$ or $\left\|\mathbf{A}^H \mathbf{r}^l\right\|_\infty < \varepsilon$

表 3　SAMP 算法流程

Algorithm 3 Sparsity Adaptive MP (SAMP)

$\mathbf{r}^0 = \mathbf{y},\ \Gamma^0 = \varnothing,$,L=s, k=1, $j = 1$

repeat

$\quad s_k = \max(|\Phi * r_{k-1}|, L)$

$\quad C_k = \Gamma_{k-1} \cup s_k$

$\quad \Gamma = \max(|\Phi^+_{C_k} y|, \mathrm{L})$

$\quad r = \mathrm{y} - \Phi_F \Phi^+_F y$

$\quad j = j + 1^l$

$\quad L = j \times s$

until $\|r\|_2 \geq \|r_{k-1}\|_2$

4　仿真结果

本文主要研究的是在 CM-CDMA 系统中用户与传输码片的非规则映射关系及对活跃用户与数据的检测，以均方误差（mean square error，MSE）作为衡量活跃用户与数据检测的性能指标，即：

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} E(\hat{\mathrm{x}}_i - \mathrm{x}_i)^2 \qquad (17)$$

式（17）中 $\mathbf{x}_i$ 和 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 分别是用户传输符号向量和估计向量。

本文中 CD-CDMA 系统仿真采用二进制相移键控(binary phase shift keying，BPSK)调制，无线多径信道为 L=8，用户的初始扩频序列 s 采用 m 序列生成。在系统仿真中，N、ρ_a、β 分别为传输增益、活跃度、过载率。以信噪比为横坐标，仿真在不同信噪比下接收端传输符号检测的均方误差 MSE。

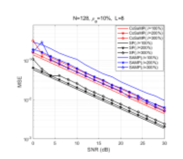


图 4. 不同过载率的 MSE

图 4 是系统在不同过载率的情况下均方误差，从图中可知 CM-CDMA 系统在过载率为 300%时仍能可靠地检测出活跃用户和数据，频谱利用率可达 300%，说明频谱利用率高。在相同的过载率条件下，三种算法中性能最优的是 SP 算法。

图 5 是系统在不同活跃度条件下的均方误差。从图中可知在不同活跃度条件下 CM-CDMA 系统均能够检测出活跃用户和数据。在活跃度为 14%及低信噪比条件下各算法都不够稳定，但随着信噪比的增加，三种算法性能均趋向稳定。说明 CM-CDMA 系统在低活跃度时较稳定。

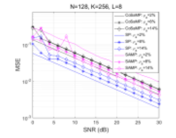


图 5　不同活跃度的 MSE

图 6 是系统在不同传输增益条件下的均方误差。从图可知 SAMP 算法在传输增益为 $N = 128$ 时性能不够稳定。但随着信噪比的增加，CoSaMP、SP、SAMP 算法都较稳定。从图可知 CM-CDMA 系统在过载条件下能较好地适应不同的传输增益。

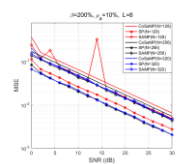


图 6　不同传输增益的 MSE

图 7 是过载率为 200%时系统在不同信号稀疏度条件下的均方误差。从图中可知，三种算法在稀疏度较小时能可靠地检测出活跃用户和数据，同时当信号稀疏度 K 增大时系统变得不够稳定。说明 CM-CDMA 系统在稀疏度较小的情况下较稳定。

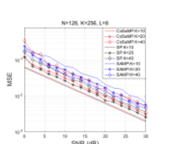


图 7 不同信号稀疏度的 MSE

chinaXiv:201804.02141v1

ChinaXiv合作期刊

5 结束语

本文研究了非正交多址接入系统中的上行多用户检测，基于 CM-CDMA 系统设计了一种非规则结构的映射矩阵，在接收端利用贪婪算法对活跃用户和数据进行检测。根据系统的不同场景需求，非规则结构映射矩阵为各用户分配不同数量的传输码片，提高了系统的灵活性。通过压缩感知技术验证了系统在不同的过载率、活跃度、传输增益和稀疏度条件下的性能。从仿真结果可知，该系统具有较好的适应性，在过载率为 300%时，系统仍能可靠地检测出活跃用户和数据，有效提升了频谱利用率。

参考文献：

[1] Boccardi F, Heath R W, Lozano A, *et al.* Five disruptive technology directions for 5G [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52 (2): 74-80.

[2] Dai Linglong, Wang Bichai, Yuan Yifei, *et al.* Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53 (9): 74-81.

[3] Hoshyar R, Wathan F P, Tafazolli R. Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN Channel [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2008, 56 (4): 1616-1626.

[4] Al-Imari M, Xiao Pei, Imran M A, *et al.* Uplink non-orthogonal multiple access for 5G wireless networks [C]// Proc of International Symposium on Wireless Communications Systems. 2014: 781-785.

[5] Islam M R, Kim J. On the use of QC-LDPC code for data transfer using short and medium block length [C]// Proc of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology. 2009: 15-18.

[6] 刘渊，李雅庆. 一种非规则 QC-LDPC 的掩码矩阵构造方法 [J]. 制导与引信, 2012, 33 (1): 37-43. (Liu Yuan, Li Yaqing. A construction meethod of masking matrix for irregular QC-LDPC [J]. Guidance & Fuze, 2012, 33 (1): 37-43.)

[7] Arabaci M, Djordjevic I B, Saunders R, *et al.* High-rate non-binary regular quasi-cyclic LDPC codes for optical communications [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27 (23): 5261-5267.

[8] Li Zongwang, Chen Lei, Zeng Lingqi, *et al.* Efficient encoding of quasi-cyclic low-density parity-check codes [J]. IEEE Trans on Communications, 2006, 54 (1): 71-81.

[9] 刘在爽，程涛，彭克武，等. 用于 LDPC 编码调制系统的非规则映射技术 [J]. 清华大学学报：自然科学版，2011, 6 (51): 734-738. (Liu Zaishuang, Cheng Tao, Peng Kewu, *et al.* Irregular mapping applications in LDPC coded modulation systems [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology) , 2011, 6 (51): 734-738.)

[10] Jiang Xueqin, Lee M H, Hou Jia. Regular and Irregular Quasi-Cyclic LDPC Codes [C]// Proc of the 73rd IEEE Vehicular Technology Conference. 2011: 1-5.

[11] Nikopour H, Baligh H. Sparse code multiple access [C]// Proc of IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. 2013: 332-336.

[12] Schepker H F, Dekorsy A. sparse multi-user detection for CDMA transmission using greedy algorithms [C]// Proc of International Symposium on Wireless Communication Systems. 2012: 291-295.

[13] Bockelmann C, Schepker H F, Dekorsy A. Compressive sensing based multi-user detection for machine-to-machine communication [J]. European Trans on Telecommunications, 2013, 24 (4): 389-400.

[14] The Consultative Committee for Space Data Systems. 131. 1-O-2. Experimental specifications, low density parity check codes for use in near-earth and deep space applications [S]. [S. l.] : The Consultative Committee for Space Data Systems, 2007.

[15] 陈震华，许肖梅，陈友淦，等. 浅海水声信道中原模图 LDPC 码的设计及性能分析 [J]. 电子与信息学报, 2016, 38 (1): 153-159. (Chen Zhenhua, Xu Xiaomei, Chen Yougan, *et al.* Design and analysis of protograph based LDPC codes in shallow water acoustic channels [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2016, 38 (1): 153-159.)

[16] 郭艳，钱鹏，李宁，等. 基于压缩感知的多目标定位中的测量矩阵设计 [J]. 计算机科学, 2016, 43 (11): 160-163. (Guo Yan, Qian Peng, Li Ning, *et al.* Measurement matrix design for multiple target localization based on compressive sensing [J]. Computer Science, 2016, 43 (11): 160-163.)

[17] Vershynin R. 1011. 3027, Introduction to the non-asymptotic analysis of random matrices [S]. Eprint Arxiv, University of Michigan. 2010: 1-62.

[18] He Kesen, Li Yangqing, Yin Changchuan, A novel CS-based non-orthogonal multiple access MIMO system for downlink of MTC in 5G [C]// Proc of the 28th IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. 2017: 1-5.

chinaXiv:201804.02141v1